

## 鄂尔多斯盆地中东部三叠系、 侏罗系露头区裂缝体系展布特征

张义楷<sup>1</sup>,周立发<sup>1</sup>,党犇<sup>2</sup>,白斌<sup>1</sup>

(1. 西北大学地质学系,陕西 西安 710069; 2. 长安大学资源学院,陕西 西安 710054)

**摘要:**通过对研究区内三叠系、侏罗系露头区裂缝(节理)的观察与统计,对鄂尔多斯中东部地区三叠系、侏罗系裂缝体系的展布特征进行了研究,并分析了裂缝体系形成的构造应力场背景。研究表明:在中新生代不同时期构造应力场及其联合作用的控制下,研究区裂缝体系中一组通常为压剪性质,而另一组多为张剪性质,区内 NE 向和 NNE 向裂缝体系多具张剪性质。裂缝体系主要发育于脆性岩层当中,且以垂直裂缝(节理)最发育,在某一确定地区裂缝带成对出现,并相互交切,共同组成平面 X 型共轭剪节理。

**关键词:**三叠系;侏罗系;裂缝;节理;构造应力场

**中图分类号:**TE121, P542 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-1552(2006)02-0168-06

鄂尔多斯盆地是一个四周均被活动断裂或深大断裂所围限的非规则多边形地块(潘爱芳等,2005)。三叠系、侏罗系是盆地中生界主要的生、储烃岩体。从整体上看,盆地内部构造变形微弱,地层平缓,无明显的构造发育,盆地周边露头观察表明,三叠系、侏罗系地层中断层和裂缝较为发育,因此尽管陕甘宁盆地内部的褶皱和断层均不发育,但作用于盆地周缘的应力必然会对盆地内部产生影响,即盆地在稳定背景下具有不稳定因素,表现为在盆地范围内广泛存在裂缝(张莉,2003)。裂缝不仅能作为油气运移的通道,还能提高储层的孔隙度和渗透率、提高孔隙的连通程度,从而起到改善储层储集性能的作用。试油资料证实,单井产量随裂缝密度的增大有增加的趋势,而其与有效缝密度之间的正相关关系则更为明显(刘宝宪等,2002)。对盆地三叠系、侏罗系裂缝体系平面展布规律的研究有助于恢复裂缝发育期的构造应力场(武红岭和王薇,2003),还能确定和预测裂缝及裂缝-孔隙性储层

的发育区,进一步提高勘探效益。

### 1 三叠系中的裂缝(节理)体系展布特征

通过对研究区内三叠系露头区裂缝(节理)的观察与统计(图1),鄂尔多斯盆地三叠系的裂缝体系有下列特点:①以发育垂直裂缝体系为特征,节理面倾角普遍大于 $70^{\circ}$ ,斜交裂缝、水平裂缝并不发育。(这里所说的垂直裂缝体系单指在古构造应力场的作用下形成的裂缝体系,也是本文主要研究的对象。事实上研究区三叠系储层中同时还发育水平裂缝体系,这类裂缝多受流体异常压力的控制。)(单业华,2000)。上述垂直裂缝通常都有两组不同方向的垂直节理相互交叉,构成平面 X 型共轭剪节理系统。②这些裂缝在砂岩、粉砂岩,尤其是厚层砂岩中十分发育,但在砂岩上、下相邻的泥、页岩中这些裂缝系统消失,这与前人在三叠系岩芯中观测到

收稿日期:2005-05-18;改回日期:2005-09-14

基金项目:国家重大基础研究前期研究专项项目(2002CCC01400);国家重点基础研究发展973项目(编号2003CB214601)。

作者简介:张义楷(1980-),男,河北易县人,博士研究生,从事石油地质研究。Email: yikaizhang@tom.com

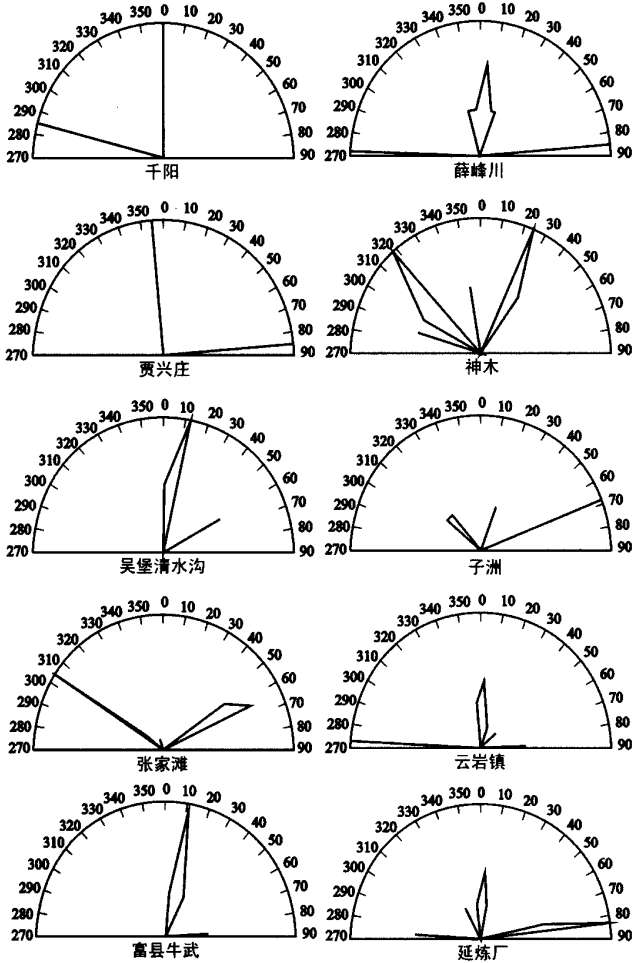


图 1 鄂尔多斯盆地中东部三叠系节理走向玫瑰花图 (部分)  
Fig. 1 Rose diagram showing the strikes of fractures in Triassic in central-east Ordos basin

的结果相似,表明致密岩石在构造应力场的作用下更易形成裂缝(张莉,2003)。③部分垂直裂缝系统在早期明显具剪节理性质,后期具张剪性质,其中尤以 NNE 向节理系统的后期张性特征较明显,其次为近 SN 向节理系统。

按节理发育特征及展布方向可将裂缝发育区划分为五个构造均匀区:陇县-千阳区、韩城-黄陵区、延安-宜川区、榆林-吴堡区、神木区,综合各个测点的裂缝(节理)方位,可以得出每个构造区裂缝(节理)系统的展布图(图 2a)。陇县-千阳区以发育 NWW 向和近 SN 向(或 NNE 向)两组平面 X 型共轭剪切理为特征。韩城-黄陵区 12 个不同观测点的统计结果显示,该区以发育 NEE 向(或近 EW 向)和近 SN 向两组平面 X 型共轭剪节理为特征。神木地区 9 个不同观测点三叠系裂缝(节理)系统

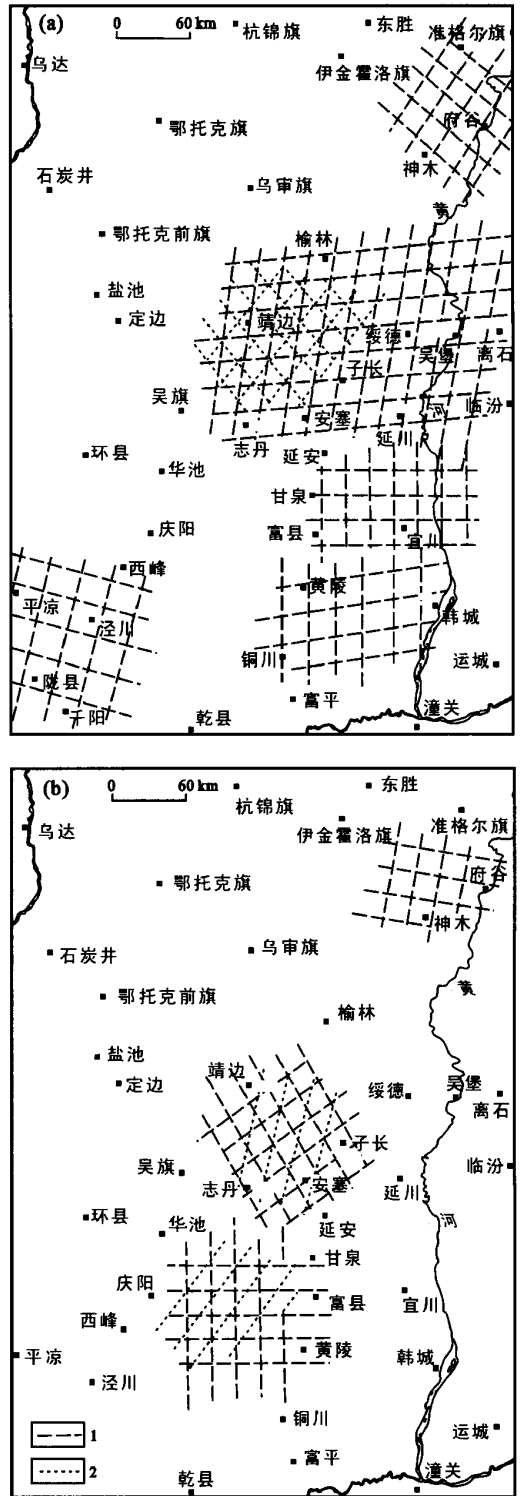


图 2 鄂尔多斯盆地中东部裂缝体系展布图  
(a) - 三叠系裂缝系统展布图;(b) - 侏罗系裂缝系统展布图;  
1 - 裂缝体系展布的主要方向;2 - 裂缝展布的次要方向  
Fig. 2 Map showing distribution of fracture systems in central-east Ordos basin

的统计结果显示,该区以发育 NE 向和 NW 向两组平面 X 型共轭剪节理为特征。榆林 - 吴堡区 12 个不同观测点的统计结果显示,该区三叠系中主要发育 NEE(或近 EW)和近 SN 向两组平面 X 型共轭剪节理,NE 向和 NW 向两组平面 X 型共轭剪节理为次要部分。延安 - 宜川区 15 个不同观测点的统计结果显示,该区发育近 EW 和近 SN 向两组平面 X 型共轭剪节理。

## 2 侏罗系中的裂缝(节理)体系展布特征

通过对研究区内侏罗系露头区裂缝(节理)的

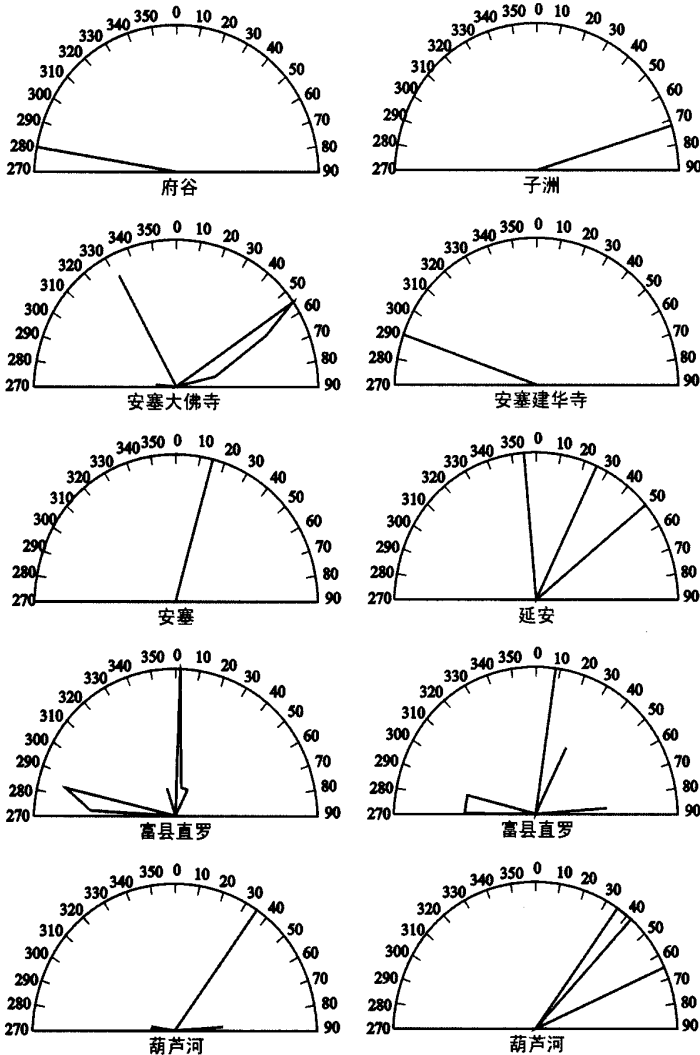


图 3 鄂尔多斯盆地中东部侏罗系节理走向玫瑰花图(部分)

Fig. 3 Rose diagram showing the strikes of fractures in Jurassic in central-east Ordos basin

观察与统计(图 3),研究区以发育垂直裂缝(节理)为特征,斜交缝、水平缝发育甚少,普遍以平面 X 型节理形式出现。

根据地表露头区侏罗系中裂缝(节理)发育特征及展布方向,可将研究区内侏罗系中的裂缝系统划分为三个构造均匀区,它们是神木 - 府谷区、靖边 - 安塞区和庆阳 - 富县区(图 2b)。神木 - 府谷一带的侏罗系中主要发育 NW 和 NNE 两组裂缝(节理)系统,两组裂缝系统中以 NW 向最为发育,它与 NNE 向裂缝系统构成平面 X 型共轭节理系统。靖边 - 安塞区的侏罗系中以发育 NE 和 NW 向两组裂缝(节理)系统为特征,NNE 向裂缝为次要部分。NE 和 NW 向两组垂直节理共同组成平面 X 型共轭剪节理系统。庆阳 - 富县区的侏罗系中发育近 EW 和近 SN 向两组裂缝(节理)系统,以 EW 向裂缝系统为主,NE 向裂缝系统为次要组成部分。近 EW 和近 SN 向两组裂缝系统共同组成平面 X 型共轭剪节理。

## 3 裂缝(节理)体系的基本特征

研究区三叠系、侏罗系中的裂缝体系,尽管其在不同的地区展布方向有所不同,但共同的特点是:①裂缝体系以垂直裂缝(节理)最发育,而斜交裂缝和水平裂缝均不甚发育;②在某一确定地区裂缝带成对出现,并相互交切,共同组成平面 X 型共轭剪节理;③野外观察两组裂缝系统中一组通常为压剪性质,而另一组多为张剪性质,研究区内 NE 向和 NNE 向裂缝系统多具张剪性质;④在砂泥岩互层中,块状厚层砂岩中普遍发育平面 X 型共轭剪节理,而夹于上、下砂岩之间的泥、页岩层中节理突然消失(图 4),说明裂缝系统主要发育于脆性岩层当中。⑤棋盘格式构造裂缝系统为其基本构造型式(图 5)。



图4 三叠系砂岩中的垂直裂缝

Fig. 4 The vertical fractures in Triassic sandstone



图5 三叠系砂岩中的棋盘格式裂缝系统

Fig. 5 The chess-board fracture system in Triassic sandstone

## 4 裂缝(节理)体系形成的构造应力场背景

研究区三叠系、侏罗系裂缝(节理)体系是在盆地中生代不同期次构造应力场的背景下形成的。在地质历史时期中,不同时期构造应力场之间的影响或干扰可能是不大的。然而早期构造应力场所造成的构造形变却可影响后期的构造应力场(万天丰,1988)。当后期与早期应力场应力方向一致时,而只有应力大小变化时,后期应力场只是在早期应力场作用的基础上继续作用而已,影响不易分辨(张进等,2004)。但当后期应力场的应力方向发生变化时,早期应力场所形成的构造形变所造成的岩层的不均匀分布和断裂将限制和影响后期构造应力的分布,后期应力均可使早期的构造变形,特别是尚未愈合的断裂重新活动,其活动方式则主要受控于后期构造应力场。

上述裂缝体系的共性,反映区域构造应力场的基本特点是中间主应力轴( $\sigma_2$ )呈直立状,而最大主应力轴( $\sigma_1$ )和最小主应力轴( $\sigma_3$ )呈近水平状,这与前人关于鄂尔多斯盆地中生代构造应力场的观点基本一致(汤锡元等,1992;中国煤田地质总局,1996;张泓,1996;张泓等,2000)。这种应力状态产生的外力条件是由于挤压或引张作用以及水平剪切(或力偶)作用的结果。但是,两组裂缝多成直角相交和两组裂缝中一组裂缝面具压扭性质,另一组裂缝面具张扭性质的特点,反映区域性不对称的水平剪切(或力偶)作用是形成这些棋盘格式裂缝(节理)构造的基本原因。因此,研究区三叠系、侏罗系中棋盘格式构造是在鄂尔多斯盆地中生代不同时期构造应力场及其联合作用的控制下形成的。

### 4.1 印支期构造应力场控制下的裂缝(节理)系统

印支期的主压应力轴为 NNE - SSW (汤锡元等,1992;中国煤田地质总局,1996;张泓,1996;张泓等,2000),在这一构造应力场的作用下,印支期构造层(三叠系地层)中形成 NNW 向和 NEE 向两组裂缝系统,但由于边界条件的不同,在盆地的不同构造部位形成了不同方向的裂缝系统。

### 4.2 燕山期构造应力场控制下的裂缝(节理)系统

燕山期构造应力场可以对燕山期构造层(在文中主要为侏罗系地层)及其以下地层(在文中主要为三叠系地层)产生构造效应。燕山期 NW - SE 方向的挤压力(汤锡元等,1992;中国煤田地质总局,1996;张泓,1996;张泓等,2000)可在盆地不同部位

的侏罗系地层中形成 NNE、NE 和 SN 向的挤压性剪节理及近 EW 向、NW 向、NWW 向的剪切理。因为区域上燕山期构造应力场与印支期构造应力场呈大角度斜交叠加关系,因此,燕山期构造应力场除在燕山期构造层中形成自己的断裂系统外,还可对印支期构造层产生叠加及改造的构造效应,最主要的是在燕山期 NW-SE 向挤压构造应力场作用下,印支期构造层中先成的 NW 和近 EW 向剪节理发生构造性质反转,转变成为张剪节理(裂缝)系统,并形成新生的裂缝系统。

#### 4.3 喜马拉雅期构造应力场控制下的裂缝(节理)系统

喜马拉雅期构造应力场的基本特征是 NNE-SSW 向的挤压和 NWW-SEE 向的拉张(汤锡元等,1992;中国煤田地质总局,1996;张泓,1996;张泓等,2000)。这种构造应力场可以对所有构造层产生影响。对于喜马拉雅构造层,主要是形成 NE 和 NW 两组共轭剪理,同时形成 NNE 方向的张节理。对于燕山期构造层来讲,燕山期 NW-SE 方向的挤压力形成的 NNE、NE 和 SN 向的挤压性剪节理发生构造性质的反转,转变成为张节理。燕山期构造层中近 EW 向、NW 向、NWW 向的剪节理在喜马拉雅期构造应力场作用下转变成为压剪性质。对于印支期构造层来讲,NNE、NE 和近 SN 向的早期构造裂缝在喜马拉雅期构造应力场作用下同样也会发生构造性质的反转,使其转变成为具张性特征的剪节理,而 NWW、NW 和近 EW 向的早期节理的构造性质转变为压扭性质。

## 5 结 论

研究区三叠系、侏罗系中的裂缝体系主要发育在脆性岩层当中,以垂直裂缝(节理)最发育,而斜交裂缝和水平裂缝均不甚发育。裂缝往往在某一确定地区成对出现,并相互交切,共同组成平面 X 型共轭剪节理,在区域上表现为棋盘格式的构造型式。且两组裂缝系统中一组通常为压剪性质,而另一组多为张剪性质,研究区内 NE 向和 NNE 向裂缝系统具张剪性质。

研究区三叠系、侏罗系中棋盘格式构造型式的裂缝体系是在鄂尔多斯盆地中生代印支期、燕山期、喜马拉雅期构造应力场及其联合作用的控制下形成的。

## 参考文献:

- 刘宝宪,张军,章贵松,周立发. 2002. 鄂尔多斯盆地中东部奥陶系裂缝体系特征. 天然气工业,22(6):35-38.
- 潘爱芳,赫英,黎荣剑,席先武. 2005. 鄂尔多斯盆基底断裂与能源矿产成藏成矿的关系. 大地构造与成矿学,29(4):459-464.
- 单业华. 2000. 鄂尔多斯盆地中部三叠系延长统古异常超压的石油脉群证据. 大地构造与成矿学,24(4):329-332.
- 汤锡元,郭忠铭,陈荷立,王润三,李笃行,张军. 1992. 陕甘宁盆地西缘逆冲推覆构造及油气勘探. 西安:西北大学出版社,116-123.
- 万天丰. 1988. 古构造应力场. 北京:地质出版社,106-108.
- 武红岭,王薇. 2003. 几个力学概念在构造地质学中的应用. 大地构造与成矿学,2003(2):109-114.
- 张泓. 1996. 鄂尔多斯盆地中生代构造应力场. 华北地质矿产杂志,11(1):87-92.
- 张泓,孟召平,何宗莲. 2000. 鄂尔多斯煤盆地构造应力场研究. 煤炭学报,25(增刊):1-5.
- 张进,马宗晋,任文军,雷永良. 2004. 宁夏中南部古生代弧型构造. 大地构造与成矿学,28(1):29-37.
- 张莉. 2003. 陕甘宁盆地储层裂缝特征及形成的构造应力场分析. 地质科技情报,22(2):21-24.
- 中国煤田地质总局. 1996. 鄂尔多斯盆地聚煤规律及煤炭资源评价. 北京:煤炭工业出版社,336-349.

## References:

- China National Administration of Coal Geology. 1996. Coal accumulating and coal resource evolution of Ordos basin. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 336-349 (in Chinese with English abstract).
- Liu Baoxian, Zhang Jun, Zhang Guisong and Zhou Lifa. 2002. Characteristics of fracture systems in Ordovician in central-east Ordos basin. *Natural Gas Industry*, 22(6):35-38 (in Chinese with English abstract).
- Pan Aifang, He Ying, Li Rongjian and Xi Xianwu. 2005. Relation between basement fractures and formation of energy resources in Ordos Basin. *Geotectonica et Metallogenia*, 29(4):459-464 (in Chinese with English abstract).
- Shan Yehua. 2000. Oil vein swarm in the Triassic Yanchang formation, central Ordos Basin: evidence for ancient abnormal overpressure in oil migration. *Geotectonica et Metallogenia*, 24(4):329-332 (in Chinese with English abstract).
- Tang Xiyuan, Guo Zhongming, Chen Heli, Wang Runsan, Li Duxing and Zhang Jun. 1992. The study and petroleum prospect of thrust nappe in the west margin of Shaanxi-Gansu-Ningxia basin. Xi'an: Northwest University Pub-

- lishing House, 116 – 123 (in Chinese).
- Wan Tianfeng. 1988. Palaeotectonic-stress field. Beijing: Geology Publishing House, 106 – 108 (in Chinese).
- Wu Hongling and Wang Wei. 2003. The application of some mechanical concepts for tectonic geology. *Geotectonica et Metallogenia*, 27(2):109 – 114 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Hong. 1996. Mesozoic and Cenozoic palaeotectonic-stress field of Ordos basin. *Jour Geol & Min Res North China*, 11(1): 87 – 92 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Hong, Meng Zhaoping and He Zonglian. 2000. Study on the tectonic stress fields in the Ordos Coal Basin. *Journal of China Coal Society*, 25(Sup):1 – 5 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Jin, Ma Zongjin, Ren Wenjun and Lei Yongliang. 2004. Palaeozoic arcuate thrust belt in central and southern Ningxia. *Geotectonica et Metallogenia*, 28(1):29 – 37 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Li. 2003. Characteristics of reservoir fracture and the analysis of stress field in Shaanxi – Gansu – Ningxia basin. *Geological Science and Technology Information*, 22(2):21 – 24 (in Chinese with English abstract).

## CHARACTERISTICS OF DISTRIBUTION OF THE FIELD OUTCROP FRACTURE SYSTEMS IN TRIASSIC AND JURASSIC IN CENTRAL-EAST ORDOS BASIN

ZHANG Yikai<sup>1</sup>, ZHOU Lifa<sup>1</sup>, DANG Ben<sup>2</sup> and BAI Bin<sup>1</sup>

(1. Department of Geology, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710069, China; 2. School of Resources, Chang'an University, Xi'an, Shaanxi 710054, China)

**Abstract:** Ordos Basin is a polycyclic superimposed basin that was formed in an earlier geological history and has experienced a longer evolution history. At the same time, it is the second largest sedimentary basin on land in China that possesses abundant oil and gas resources and shows bright prospects in oil and gas exploration. It is now one of the important tactical areas in oil and gas exploration in China. Through systematical observation and counting of the field outcrop fractures of Triassic and Jurassic, the author studied the characteristics of distribution of the field outcrop fractures system of Triassic and Jurassic. Then the tectonic stress field background of the formation of fractures system of Triassic and Jurassic was studied. The direction of the main tectonic stress fields in the basin is NW – SE and NNE – SSW and SN during the Indosinian movement, but becomes NW – SE during the Yanshanian movement, and turns to NNE – SSW during the Himalayan movement. The study also shows that the formation of the fracture system of Triassic and Jurassic is controlled by the Mesozoic and Cenozoic Palaeotectonic-stress field and its compound action. Observation of the field outcrop fractures indicates that one of the two sets of fracture systems formed in an area with NE and NNE extensions often possesses tension shear property, and the other possesses compression shear property. The fractures system mainly originated from the brittle formation and most of the fractures are vertical ones. The fractures generally occur in pairs in the study area and the paired fractures often cross each other to form the so-called X-conjugate joints.

**Keywords:** Triassic; Jurassic; fracture; joint; tectono-stress field